

УДК 004.415+658:621.56

С. Л. Волков, к.т.н., С. Д. Асабашвілі, С. В. Коломієць

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ПРОМИСЛОВИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

У статті представлено множинну модель оцінки якості життєвого циклу промислових кіберфізичних систем які є базою створення і еволюції Індустрії 4.0. Модель є подальшим розвитком моделі структури показників якості життєвого циклу складних об'єктів і визначає уніфіковану структуру для кількісної оцінки якості системи як складової Системи систем, на протязі її життєвого циклу визначеного dual-V процесною моделлю. Узагальнено множинне визначення моделі життєвого циклу Системи систем. На базі визначень і еталонної моделі згідно стандартів серії ISO 25000 наведено графічну структуру моделі показників якості. Запропоновані математичні вирази і графічні структури вимірювання і оцінки якості життєвого циклу досліджуваної системи.

Ключові слова: кіберфізична система, оцінка якості, життєвий цикл, уніфікована структура оцінки якості, dual-V процесна модель.

С. Л. Волков, к.т.н., С. Д. Асабашвили, С. В. Коломиец

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОМЫШЛЕННЫХ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье представлена множественная модель оценки качества жизненного цикла промышленных киберфизических систем которые являются базой создания и эволюции Индустрии 4.0. Модель является дальнейшим развитием модели структуры показателей качества жизненного цикла сложных объектов и определяет унифицированную структуру для количественной оценки качества системы как составляющей Системы систем, на протяжении ее жизненного цикла определенного dual-V процессной моделью. Дано множественное определение модели жизненного цикла Системы систем. На базе определений и эталонной модели данных в стандартах серии ISO 25000 приведена графическая структура модели показателей качества. Предложены математические выражения и графические структуры измерения и оценки качества жизненного цикла исследуемой системы.

Ключевые слова: киберфизическая система, оценка качества, жизненный цикл, унифицированная структура оценки качества, dual-V процессная модель.

S. L. Volkov, PhD., S. D. Asabashvili, S. V. Kolomiets

THE MODEL OF QUALITY EVALUATION OF THE LIFECYCLE OF INDUSTRY CYBERPHYSICAL SYSTEMS

In the article the set of models of quality evaluation of the lifecycle of the cyberphysical systems, which are the basis for building and evolution of the Industry 4.0 is presented. The model is the next development of structure of quality indicators of the lifecycle of difficult objects and defines the unified structure for quantitative assessment of quality of systems, which are parts of the System of systems, throughout whole its lifecycle, which is defined by dual-V process model. In the study the set-theoretical definition of the quality model of the lifecycle of the System of systems is generalized. Based on the definitions and reference model, which are given in family of standards ISO 25000, the hierarchical structure of the model of quality indicators and math model of quality evaluation is built. The generalized expressions for quantitative assessment of complex quality indicators of the lifecycles and phases of the cyberphysical system as a part of the System of systems are offered. The expressions for quantitation of quality indicators of the processes of validation and confirmation according to the model of inner and outer quality and quality during usage are offered. The decomposition of the process V-model of quality of the generalized process of the lifecycle is done and the analysis of the phases of the processes as objects of the lowest level is executed. The expressions for quantitation of complex quality indicators of the lifecycle and the process phases are offered. The graphical visualization of the mathematical model of quality evaluation of the lifecycle of the cyberphysical systems is given, integration phases and validation (CQM verification and validation), phases of development and determination (CQM lowest configuration items), phases of development and determination (CQM processes). The mathematical model of quality evaluation of the lifecycle, which is received as a result of the research, gives the possibility of automated building of the general tree of quality of the System of systems and subtrees of quality of the explored cyberphysical system and its subsystems.

Keywords: The system of systems, cyberphysical system, quality evaluation, lifecycle, unified structure of quantity assessment of quality, process dual-V model.

де $Q_{LC_{SoS}}$ – якість Системи систем, $Q_{LC_{Sys}}$ – якість CPS, $Q_{LC_{SubSys}}$, $Q_{LC_{LCI}}$, $Q_{LC_{Proc}}$ – якість підсистем, елементів нижчого рівня та процесів, відповідно; Q_{PrLC} – множина показників якості фази процесу; Q_{Verif} – якість

перевіряння; Q_{Valid} – якість затвердження; a – індекс рівня системи в dual-V процесної моделі якості ЖЦ, b – індекс фази ЖЦ системи, c – індекс ЖЦ процесу фази системи, d – індекс фази процесу.

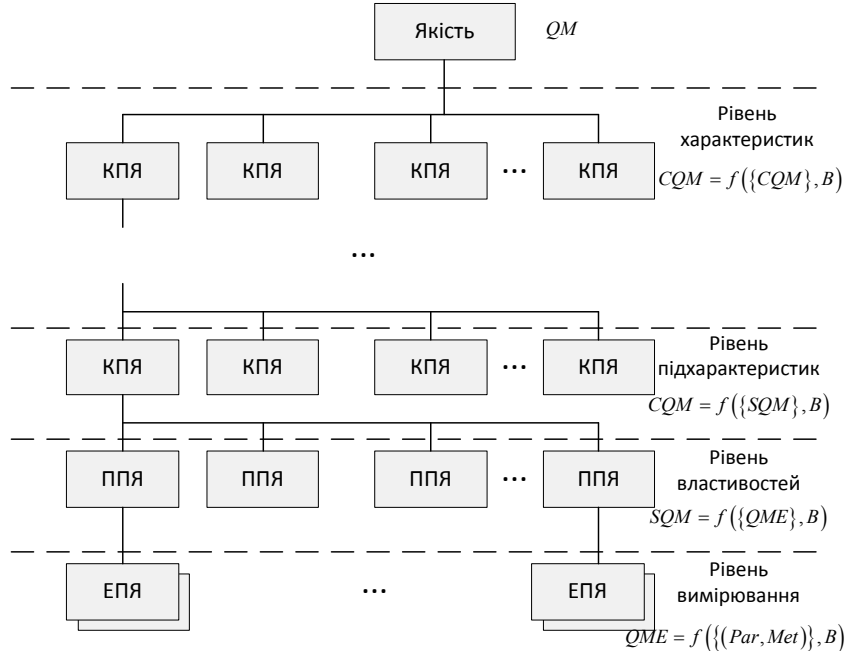


Рисунок 1 – Структура моделі показників якості

Математична модель вимірювання якості вигляд: згідно еталонної та структурної моделей має

$$QM = f\left(f\left(\{(Par, Met), B\}\right), f\left(\{QME, B\}\right), f\left(\{SQM, B\}\right), f\left(\{CQM, B\}\right)\right), \quad (2)$$

де QM – комплексний показник якості CPS (корінь дерева ПЯ); $\{CQM\}$ – множина комплексних показників якості рівня (множини вузлів рівнів підхарактеристик і характеристик дерева

$B = \{b_1, \dots, b_i, \dots, b_{|Q_l|}\}$ – характеристичний вектор відповідних множин ($Q_l \subset Q_{l-1} | \forall Q_x \in Q_l, b_i = 1$), Q_l – множина ПЯ довільного рівня, x – індекси ПЯ на відповідному рівні; $l = (1:|l|)$ – індекс рівня, $|l|$ – рівень листя, $(|l|-1)$ – рівень ППЯ, $(1:(|l|-2))$ – рівні КПЯ.

$$\text{ПЯ} \left\{ \begin{array}{l} CQM_{(|l|-2)} = f(\{SQM\}, B) \\ CQM_{(|l|-3)} = f(\{CQM_{(|l|-2)}\}, B); \{SQM\} - \\ \dots \\ CQM_1 = f(\{CQM_2\}, B) \end{array} \right.$$

Позначимо кількісні значення якості означених вище структурних елементів через $QM_{LC_{Sys}}$, $QM_{LC_{SubSys}}$, $QM_{LC_{LCI}}$, $QM_{LC_{Proc}}$ і у відповідності до (1, 2), рис. 1 та [2] кількісне значення Q_{LC} представимо функцію:

множина простих показників якості (множина вузлів рівня властивостей) $SQM = f(\{QME\}, B)$; $\{QME\}$ – множина елементів показників якості (множина листя рівня вимірювання) $QME = f(\{(Par, Met)\}, B)$; $\{(Par, Met)\}$ – множина кортежів (параметрів і методів) вимірювання;

$$QM_{LC} = f(\{QM_{PhLC}\}), \quad (3)$$

де QM_{PhLC} – КПЯ узагальненої фази V-

моделі якості ЖЦ системи.

В свою чергу згідно (1, 2):

$$QM_PhLC = f \left(\begin{matrix} QM_Verif, QM_Valid, \\ QM_LC_{Proc}, QM_LC_{SubSys} \end{matrix} \right), \quad (4)$$

де QM_Verif – КПЯ перевіряння фази, QM_Valid – КПЯ підсистем які відносяться до фази (систем нижнього рівня);
 QM_LC_{Proc} – КПЯ процесів фази, QM_LC_{SubSys}

$$QM_Verif = f \left(\begin{matrix} f(\{(Par, Met), B\}_{Verif}, f(\{QME, B\}_{Verif}), \\ f(\{SQM, B\}_{Verif}) f(\{CQM, B\}_{Verif}) \end{matrix} \right), \quad (5)$$

$$QM_Valid = f \left(\begin{matrix} f(\{(Par, Met), B\}_{Valid}, f(\{QME, B\}_{Valid}), \\ f(\{SQM, B\}_{Valid}) f(\{CQM, B\}_{Valid}) \end{matrix} \right)$$

де структури показників якості перевіряння Q_Verif та затвердження Q_Valid відповідають моделям внутрішньої і зовнішньої якості, а на стадії експлуатації також і моделі якості при використанні [6], [7], [8].

Згідно декомпозиції процесної V-моделі якості ЖЦ процесу [5], [2] та (1), оскільки рівень процесів є об'єктом самого нижнього рівня, множини

$$\left\{ \bigcup_c \left\{ \bigcup_d Q_PrLC_{abcd} \right\} \right\} = \phi, \quad \{Q_LC_{(a+1)b}\} = \phi$$

отримаємо:

$$Q_LC_{proc} = \bigcup_b \{Q_PrLC_b\},$$

де b – індекс фази процесу.

Узагальнюючи і переходячи до кількісних визначень:

$$QM_LC_{Proc} = f(\{QM_PrLC\})$$

$$QM_PrLC = f(\{(QM_Verif), (QM_Valid)\}) \quad (6)$$

де QM_PrLC – КПЯ узагальненої фази V-моделі якості ЖЦ процесу, QM_Verif та QM_Valid розраховуються за виразом (5).

КПЯ підсистем QM_LC_{SubSys} та систем нижчого рівня QM_LC_{LCI} (як підсистем підсистеми) розраховуються за виразами (3 – 6) як і КПЯ узагальненої системи.

Візуалізація математичної моделі оцінки якості життєвого циклу CPS (3 – 6) наведена на рис. 2 – рис. 5.

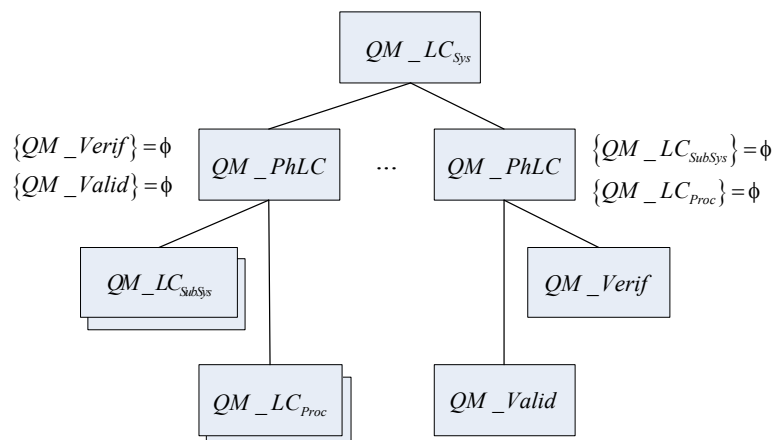


Рисунок 2 – Візуалізація математичної моделі оцінки якості життєвого циклу системи

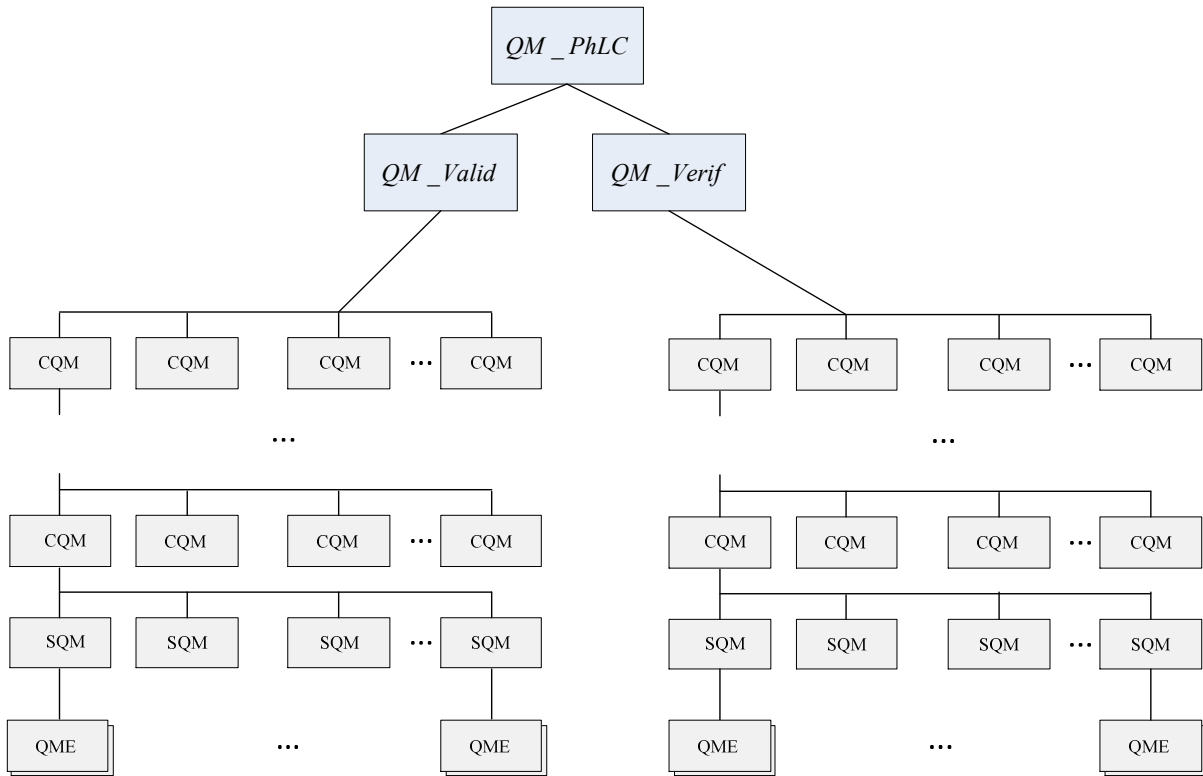


Рисунок 3 – Візуалізація математичної моделі оцінки якості життєвого циклу фаз інтеграції та перевіряння (КПЯ перевіряння і затвердження)

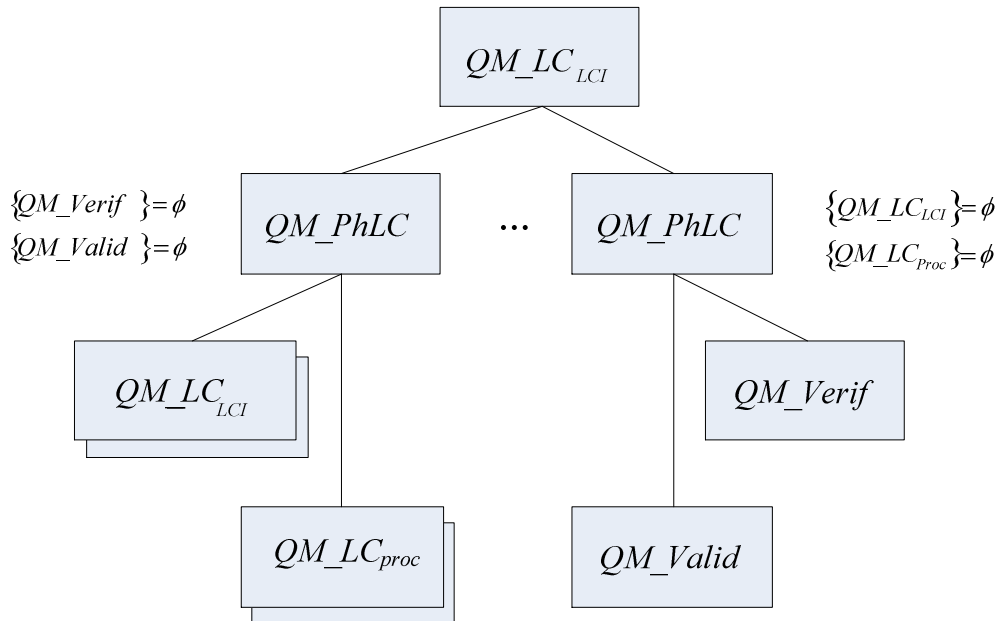


Рисунок 4 – Візуалізація математичної моделі оцінки якості життєвого циклу фаз розробки та визначення (КПЯ систем нижчого рівня)

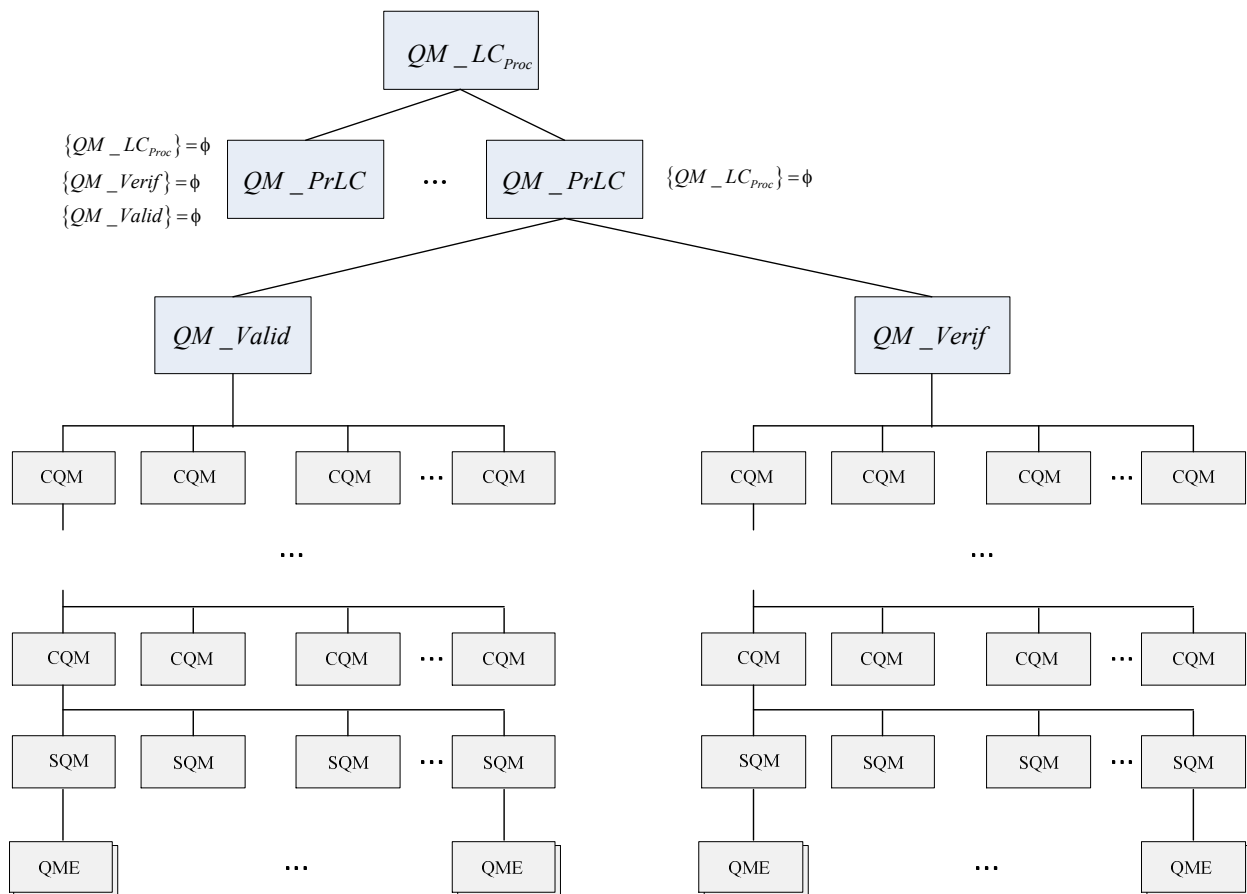


Рисунок 5 – Візуалізація математичної моделі оцінки якості життєвого циклу фаз розробки та визначення (КПЯ процесів)

Висновки

Запропонована в роботі математична модель оцінки якості є подальшим розвитком моделі структури показників якості життєвого циклу складних об'єктів. Модель визначає уніфіковану структуру для кількісної оцінки якості кіберфізичної системи як складової Системи систем, на протязі її життєвого циклу визначеного dual-V процесною моделлю. Отримана в результаті проведених досліджень математична модель оцінки якості життєвого циклу дає змогу автоматизованої побудови загального дерева якості Системи систем та піддерев якості досліджуваної кіберфізичної системи і її підсистем.

Список використаних джерел

1. Волков С. Л. Теоретичні засади побудови моделі структури експертної системи якості кіберфізичних систем / Збірник наукових праць 6-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Метрологія, технічне регулювання, якість: досягнення та перспективи» (Одеса, 11-12 жовтня). – Одеса: ОДАТРЯ. – 2016. – С. 139–141.
2. Волков С. Л. Dual-v процесна модель якості штучного об'єкту / С. Л. Волков,

О. І. Кисельова // Метрологія та прилади (спец-випуск до 100 річчя П. П. Орнатського). – № 6. – 2017. – С. 62–65.

3. Грабовський О. В. Філогенетична модель побудови дерева властивостей показників якості / О. В. Грабовський // Вісник інженерної академії України. – № 1. – 2013. – С. 225–228.

4. Вавілов Є. В. Модель двійкового методу деревоподібної кластеризації властивостей якості інформаційної системи / Є. В. Вавілов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2015. – № 6(40). – С. 78–85.

5. Волков С. Л. Системна модель процесу життєвого циклу штучних систем / С. Л. Волков, Є. В. Вавілов, С. В. Коломієць // Збірник наук. праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2017. – Вип. 1(10). – С. 83–86.

6. ДСТУ ISO/IEC 25010:2015 Інженерія програмних засобів і систем. Вимоги щодо якості та оцінювання систем і програмного продукту (SQuaRE). Моделі якості системи та програмних засобів (ISO/IEC 25010:2011, IDT).

7. ДСТУ ISO/IEC 25020:2016 Інженерія програмних засобів і систем. Вимоги щодо якості та оцінювання систем і програмного продукту

(SQuaRE). Рамкова модель і настанова щодо вимірювання (ISO/IEC 25020:2007, IDT).

8. ДСТУ ISO/IEC 25021:2016 Інженерія програмних засобів і систем. Вимоги щодо якості та оцінювання систем і програмного продукту (SQuaRE). Елементи показника якості (ISO/IEC 25021:2012, IDT).

9. Вавілов Є. В. Серія стандартів SQuaRE як основа забезпечення вимог до якості та оцінки програмних засобів / Є. В. Вавілов // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – Вип. 1(6). – 2015. С. 129–139.

10. Волков С. Л. Модель побудови дерева вимірювань якості інформаційної системи / С. Л. Волков, Є. В. Вавілов // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології : І міжнар. наук.-техн. конф., 17-20 листопада 2015. – ДУТ, К. – С. 23–24.

References

1. Volkov S. L. Theoretical principles of construction of the model of the structure of the expert system of quality of cyberphysical systems [Teoretychni zasady pobudovy modeli struktury ekspertnoyi systemy yakosti kiberfizychnykh system] / Collection of scientific papers of the 6th International Scientific and Practical Conference "Metrology, Technical Regulation, Quality: Achievements and Prospects" (Odessa, October 11-12). Odesa: OSATRQ, 2016. – P. 139–141.

2. Volkov S. L., Kiseleva O. I. Dual-v process model of the quality of the artificial object [Dual-v protsesna model' yakosti shtuchoho ob'yektu] / Metrology and devices (special edition to 100th anniversary of PP Ornatsky). – 2017. – # 6. – P. 62–65.

3. Grabovsky O. V. Phylogenetic model of constructing a tree of properties of quality indices [Filo-henetychna model' pobudovy dereva vlastyvostry pokaznykiv yakosti] / Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. – 2013. – # 1. – P. 225–228.

4. Vavilov E. V. Model of the binary tree clustering method for the quality of the information sys-

tem [Model' dviykovoho metodu derevopodibnoyi klasteryzatsiyi vlastyvostry yakosti informatsiyanoi systemy] / Scientific notes of the Ukrainian Research Institute of Communication. – 2015. – № 6(40). – P. 78–85.

5. Volkov S. L., Vavilov E. V., Kolomiets S. V. System model of life cycle process of artificial systems [Systemna model' protsesu zhyttyevoho tsykladu shtuchnykh system] / Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality. – 2017. – # 1(10). – P. 83–86.

6. DSTU ISO / IEC 25010: 2015 Engineering of software and systems. System and Software Quality and Assessment Requirements (SQuaRE). System quality and software quality models (ISO / IEC 25010: 2011, IDT).

7. DSTU ISO / IEC 25020: 2016 Engineering of software and systems. System and Software Quality and Assessment Requirements (SQuaRE). Frame model and measurement manual (ISO / IEC 25020: 2007, IDT).

8. DSTU ISO / IEC 25021: 2016 Engineering of software and systems. System and Software Quality and Assessment Requirements (SQuaRE). Quality Score Elements (ISO / IEC 25021: 2012, IDT).

9. Vavilov E.V. A series of SQuaRE standards as a basis for ensuring quality requirements and evaluating software tools [Seriya standartiv SQuaRE yak osnova zabezpechennya vymoh do yakosti ta otsinky prohramnykh zasobiv] / Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality. – 2015. – # 1(6). – P. 129–139.

10. Volkov S. L., Vavilov E. V. Model of constructing a measuring system for the quality of the information system [Model' pobudovy dereva vymiryuvan' yakosti informatsiyanoi systemy] / Modern information and communication technologies: I intern. Sci.-Tech. Conf., November 17-20, 2015. DUT, K., P. 23–24.

Надійшла до редакції 13.11.2018